



Моделирование производственного цикла серийного изготовления негеостационарных спутников связи

И. В. Юхновец (АК1-121)

Научный руководитель: к.т.н., доц. каф. ИБМ-2 Г. А. Бадиков

Студенческая научная весна - 2023

Секция Аэрокосмического факультета

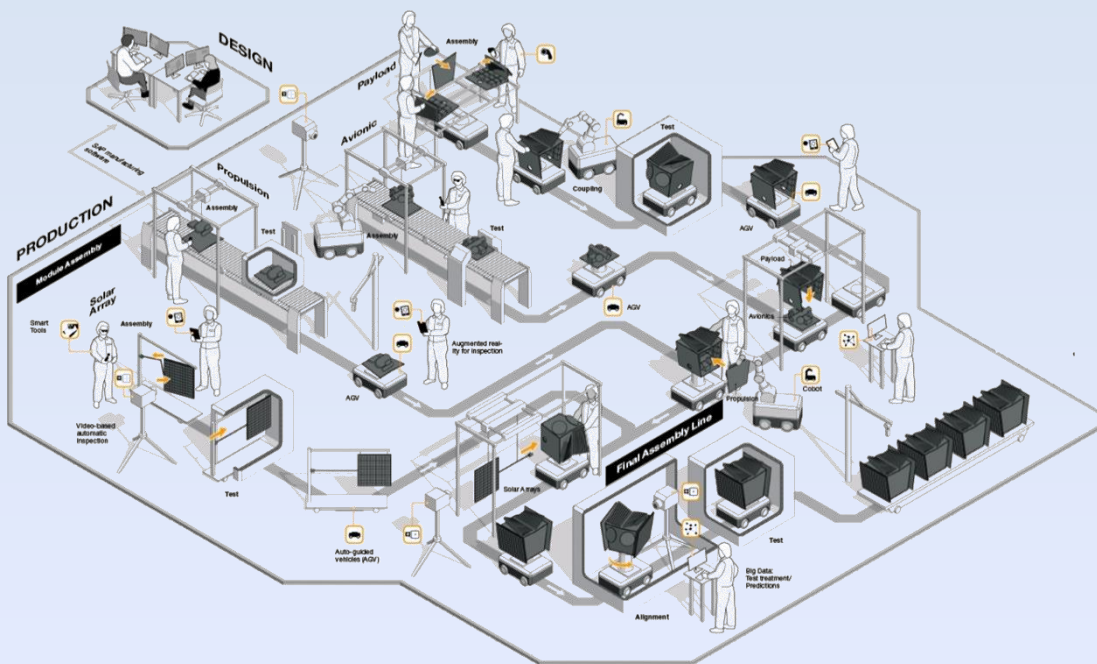
Реутов, 25 апреля 2023

Содержание работы

OneWeb (первый запуск 28.02.2019):

- **428** спутников выведено по состоянию на данный момент, из них **301** находится на рабочей орбите;
- Всего **600** спутников;
- Высота **1200 км** - альтернатива загруженной геостационарной орбите;
- Производятся компанией **OneWeb Satellites**
(50% акций - Airbus Defence and Space; 50% акций - OneWeb);
- Поточные линии находятся в **Тулузе** (1 линия) и на фабрике во **Флориде** (2 линии).

Поточная линия OneWeb



- Коллаборативные роботы (Cobots);
- Большие данные (Big Data);
- Дополненная реальность (Augmented reality);
- Умные датчики (Smart tools);
- Автоматическая стыковка (Automatic coupling);
- Автоматический осмотр (Automatic Optical Inspection);
- Самоуправляемые машины (Auto-guided vehicle);
- Автоматические тесты (Automatic tests);
- Аддитивные технологии.

Цель работы

- Разработать модель сокращения производственного цикла поточной линии сборки спутников за счет модификации поточной линии.
- Определить сокращение производственного цикла поточной линии сборки спутников систем созвездий OneWeb, StarLink, Iridium Next за счет повышения производительности труда по кривой обучения, модификацией спутника и цифровой трансформацией производственных процессов сборки.

Организационно-экономическая модель

- Затраты на труд сокращаются с каждым новым экземпляром обрабатываемой детали согласно **кривой обучения**:

$$C(i, N) = C(i, 1) \cdot N^{-\frac{\ln(100\%/S)}{\ln 2}},$$

где $C(i, N)$ - затраты на выполнение i -й операции в N -ый раз.

- Если $t(i, N) = C(i, N) / L_t$ - время выполнения операции N -ый раз при установившемся производственном процессе, то справедливо

$$t(i, N) = t(i, 1) \cdot N^{-\frac{\ln(100\%/S)}{\ln 2}}.$$

(L_t - тарифная ставка данного вида труда)

Недостаток:

*Не отражается
эффект модификации
производственного процесса*

Модификация модели, устраняющая недостатки

$$t(i, N) = t_1 + (t(i, 1) - t_1 + M_1) \cdot N^{-\frac{\ln(100\%/S)}{\ln 2}},$$

где t_1 - планируемое время выполнения операции, предельно низкое его значение, нижняя граница возможных его изменений; M_1 - увеличение времени выполнения операции при модификации производственного процесса.

Модель определения длительности производственного цикла

Производственный цикл, определяемый по цикловому графику с учетом параллельного выполнения отдельных операций, равен сумме времени операций с порядковым номером один и перерывов, образующих самую длительную цепочку циклового графика. Если определить производственный цикл по цикловому графику для последнего спутника в партии, то разница

$$T_{y,1} - T_{y,N} = \delta T_{об}$$

покажет сокращение производственного цикла при повышении производительности труда по кривой обучения с учетом модернизации производственного процесса. В процентах:

$$\frac{T_{y,1} - T_{y,N}}{T_{y,1}} \cdot 100\%.$$

Исходные данные

- Количество рабочих станций на укрупненных операциях:

Укрупнённая операция	Количество станций
Солнечные батареи	4
Двигательная установка	4
Авионика	4
Полезная нагрузка	8
Линия окончательной сборки	10

- Длительность производственного цикла по цикловому графику будет определяться работой двух последних укрупненных операций в данном перечислении;
- Такт поточной линии: **8 часов** (480 минут);
- Производственный цикл будет равен **8640** мин, что соответствует **18-ти рабочим дням** при работе в одну смену (26 календарных дней).

Производственный цикл при классическом последовательном выполнении. Сравнение.

- Производственный цикл при последовательном выполнении всех операций на 30 рабочих станциях равен:

$$T_{\text{noc}} = 30 \cdot 480 = 14400 \text{ мин},$$

или 30 рабочих дней при работе в одну смену (44 календарных дня).

- Сокращение производственного цикла за счет параллельного выполнения отдельных работ:

$$\delta T_{\text{нар}} = T_{\text{noc},1} - T_{\text{ц},1} = 5760 \text{ мин},$$

или 12 рабочих дней при работе в одну смену (18 календарных дней), что соответствует сокращению на 40%.

Сокращение производственного цикла за счет обучения и преимуществ серийного производства

- Примем предельно низкое время такта поточной линии равным **360 минут** (6 часов).
- Производственный цикл изготовления 648-го спутника при параллельном выполнении работ в соответствии с цикловым графиком:

$$T_{ц,648} = 18 \left[360 + (480 - 360) \cdot 648^{-\frac{\ln(100\%/85\%)}{\ln 2}} \right] = 6954 \text{ мин}$$

14,5 рабочих дней (20,7 календарного дня).

- Сокращение производственного цикла за счет обучения и преимуществ серийного производства равно $\delta T_{об} = T_{ц,1} - T_{ц,648} = 8640 - 6954 = 1686$ минут, т. е.

3,5 рабочих дней (5 календарных дней).

Производственный цикл сократился на 19,4 %.

Увеличение длительности производственного цикла за счет модернизации контрольных операций

(как поправка к предыдущему расчёту)

- Примем, что автоматизация контрольной функции «внешний осмотр» после каждой операции увеличит время ее выполнения на **15 минут**.

- Производственный цикл изготовления 648-го спутника:

$$T_{ц,648} = 18 \left[360 + (480 - 360 + 15) \cdot 648^{\frac{\ln(100\%/85\%)}{\ln 2}} \right] = 7013 \text{ мин}$$

14,6 рабочих дней (21 календарный день).

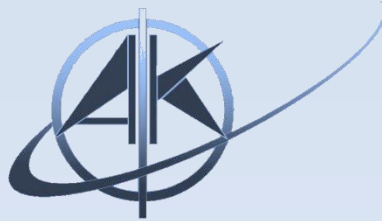
- Сокращение производственного цикла за счет обучения и преимуществ серийного производства равно $\delta T_{об} = T_{ц,1} - T_{ц,648} = 8640 - 7013 = 1527$ минут, т. е.

3,2 рабочих дней (4,5 календарных дней).

Производственный цикл сократился на 17,7 %.

Вывод

Новая модель сокращения производственного цикла позволяет моделировать изменения, связанные с повышением производительности труда по кривой обучения, модификацией спутника и цифровой трансформацией производственных процессов.



Спасибо за внимание!

Ilia.v.yukhnovets@yandex.ru

25 апреля 2023